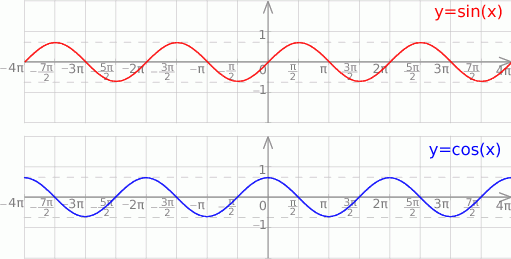
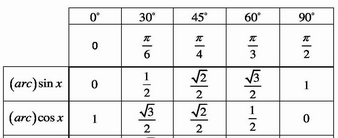
**Sin, cos:**



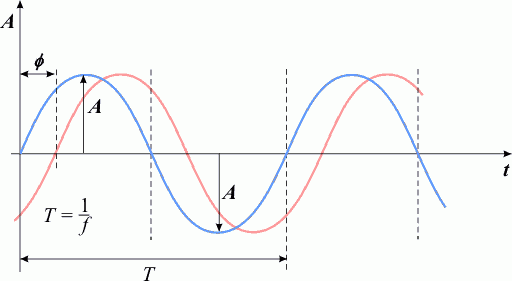


**Ton prosty** – dźwięk mający sinusoidalny przebieg o ściśle określonej częstotliwości, amplitudzie i fazie.

A – amplituda

Ω – pulsacja

Φ – przesunięcie fazowe



**Próbkowanie** – dyskretyzacja sygnału ciągłego, pobieranie określonej liczby wartości (próbek) w jednostce czasu z sygnału ciągłego w celu uzyskania sygnału dyskretnego.

**Twierdzenie o próbkowaniu:**

* aby poprawnie spróbkować sygnał, częstotliwość próbkowania musi być większa niż dwukrotność częstotliwości sygnału (aby informacja zawarta w oryginalnym sygnale była w całości odtworzona na podstawie sygnału dyskretnego i bez zniekształceń)
* widmo sygnału oryginalnego i jego kopie przesunięte o wielokrotności fp (częstotliwości próbkowania) nie nachodzą na siebie; widmo sygnału ciągłego jest ograniczone do przedziału częstotliwości (B – częstotliwość graniczna), a poza nim równe 0
* możliwość idealnego odfiltrowania sygnału oryginalnego ze spróbkowanego.

**Kwantowanie** – zamiana sygnału analogowego na cyfrowy. Ustalany jest zakres wartości sygnału analogowego (dzielony na przedziały) i rozdzielczość skwantowanego sygnału cyfrowego. Każda wartość sygnału analogowego jest następnie zaokrąglana do najbliższej wartości sygnału cyfrowego (tak, aby reprezentowała ściśle określoną wartość). Wiąże się to z utratą informacji.

**Etapy konwersji analogowo-cyfrowej (A/C):**

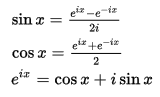
* użycie filtru antyaliasingowego (eliminuje składowe o częstotliwości powyżej określonej wartości); aliasing – zniekształcenie sygnału na skutek błędnego próbkowania (obecność w sygnale wynikowym składowych o błędnych częstotliwościach)
* próbkowanie
* kwantyzacja
* segmentacja i okienkowanie – wycinanie sygnału i podział na ramki, obliczanie SFT dla każdego z fragmentów i uśrednianie wyniku
* kodowanie (reprezentacja w komputerze)

**Transformata Fouriera (DFT, FF):**

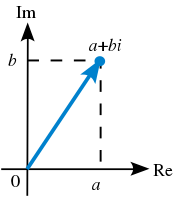
* transformata Fouriera – dekompozycja funkcji czasu (sygnału) na częstotliwości, które go tworzą
* DFT – dyskretna transformata Fouriera, wyznaczona dla sygnału próbkowanego (dyskretnego) – przekształca skończony ciąg próbek sygnału w ciąg harmonicznych
* FFT – szybka transformata Fouriera, do liczenia DFT i odwrotnej DFT (IDFT)
* parametry wpływające: liczba próbek, numer harmonicznej, wartość próbki, numer próbki, jednostka urojona
* wzory:

**Przekształcenia Eulera:**





**Liczby zespolone:**



* postać wykładnicza:

, przy czym  i 

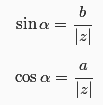
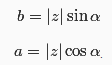
* postać kanoniczna:



* postać trygonometryczna:

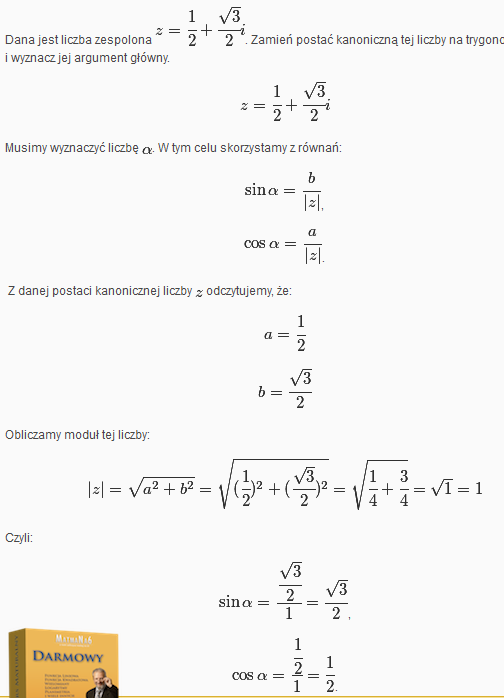


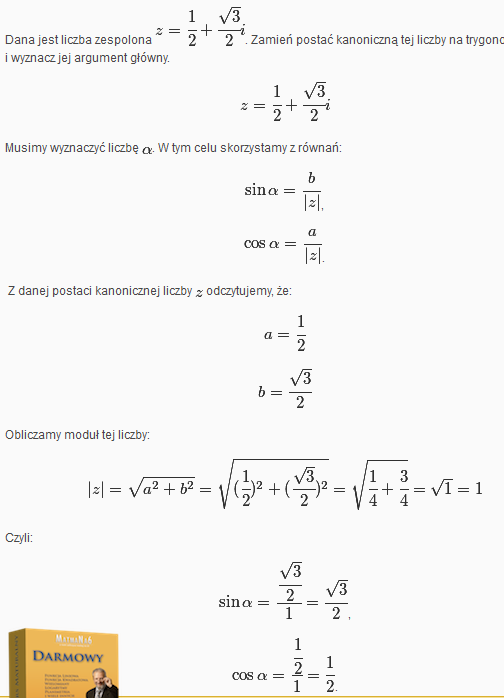
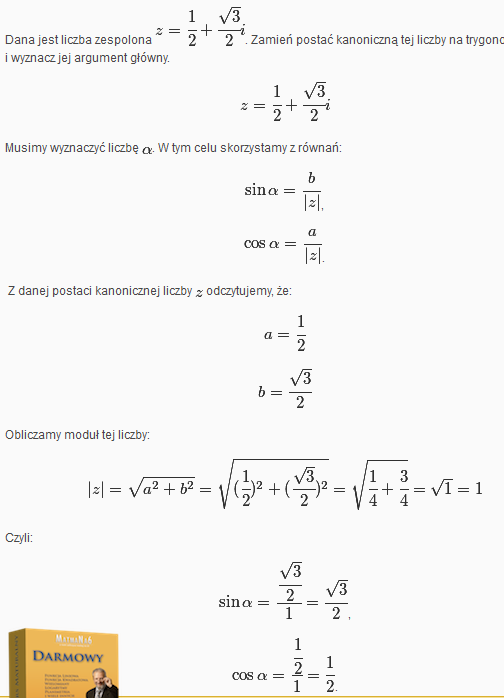
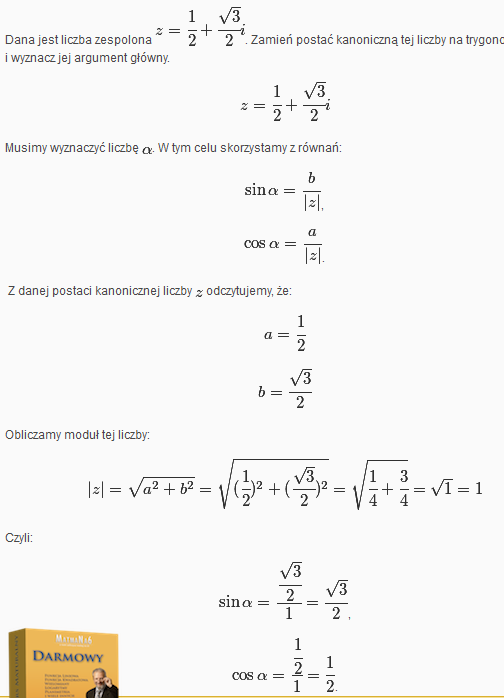


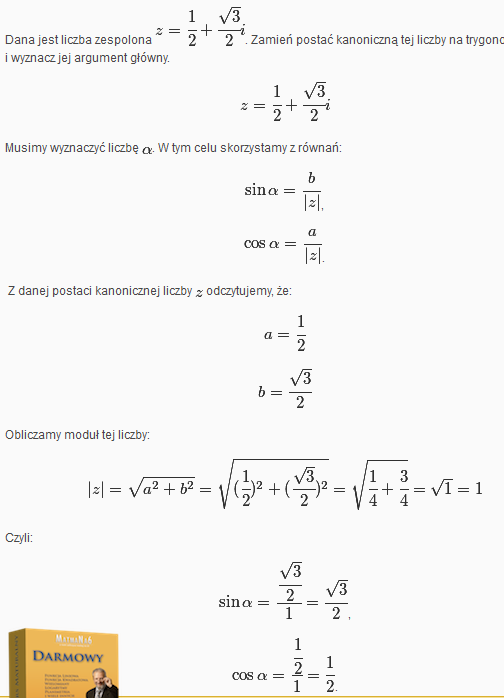
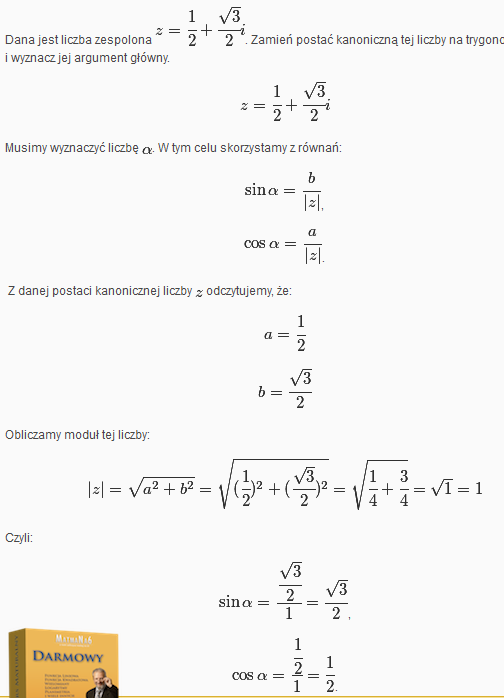
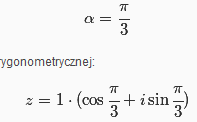
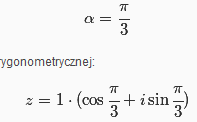
  



Przykład:



**Rozdzielczość transformaty widmowej** – rozdzielczość widma częstotliwościowego to krok, z jakim zmienia się częstotliwość w ciągu czasowym {X(h)}, czyli Δf = fp/N, gdzie N – ilość próbek, N = Tw \* fp (Tw – czas pomiaru, fp – częstotliwość próbkowania), więc Δf = 1/Tw, czyli rozdzielczość, z jaką określane jest widmo sygnału w dziedzinie częstotliwości, jest odwrotnie proporcjonalne do czasu rejestracji; sygnały okresowo szybkozmienne – małe Tw, wolnozmienne – duże.

**Widmo amplitudowe:**

* jest otrzymywane w wyniku DFT i pokazuje amplitudy składowych widmowych sygnału o różnych częstotliwościach. Dla każdego punktu (próbki, prążka) obliczamy DFT:

gdzie n to nr prążka, a m/N – częstotliwość

* wektor widma amplitudowego wynosi:

gdzie X(re) to część rzeczywista widma DFT, a X(im) – urojona

* widmo to jest wykresem zależności amplitudy od częstotliwości próbkowania.

**Widmo fazowe:**

* pokazuje fazy składowych
* wykres zależności przesunięcia fazowego od pulsacji (lub fp) –

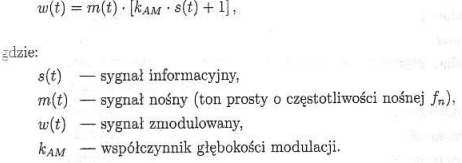
**Przeciek widmowy** – efekt powstający, gdy w sygnale jest składowa o częstotliwości różnej od fp/N (widmo staje się „zanieczyszczone” przez tę składową, powstają nieciągłości pomiędzy powielanymi okresowo fragmentami sygnału).

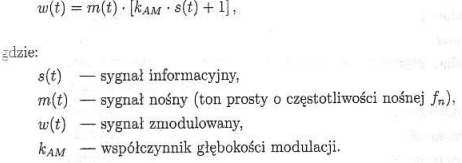
**Funkcje okna** – stosowane, aby wygładzić widmo i zmniejszyć przecieki; szereg domnażany jest przez funkcję zanikającą na początku i końcu szeregu i bliską jedności w środku.

**Modulacja** – przesunięcie zakresu częstotliwości pasma podstawowego w określony zakres częstotliwości w nadajniku w celu przesłania sygnału przez określony kanał telekomunikacyjny. Jest to realizowane poprzez odwzorowanie sygnału informacyjnego przez zmianę jednego z parametrów sygnału nośnego.

**Modulacja ciągła** – jeśli sygnałem nośnym jest sygnał sinusoidalny (ton prosty): 

* **modulacja AM (amplitudy)** – odwzorowanie wartości sygnału informacyjnego na zmiany amplitudy sygnału nośnego, przy czym częstotliwość sygnału nośnego (f(n)) powinna być znacznie większa od maksymalnej składowej częstotliwości sygnału informacyjnego (f(i)max), a amplituda sygnału informacyjnego powinna być mniejsza od amplitudy sygnału nośnego (|k\*s(t)<1| - należy właściwie dobrać wartość współczynnika k).



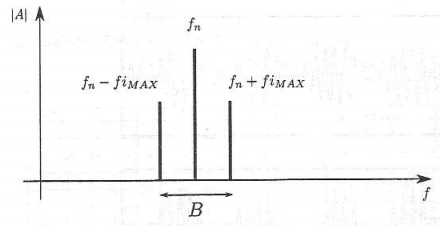


lub:



gdzie pierwsza składowa reprezentuje falę nośną, a druga wstęgi boczne (patrz rysunek niżej)

Widmo amplitudowe sygnału AM:



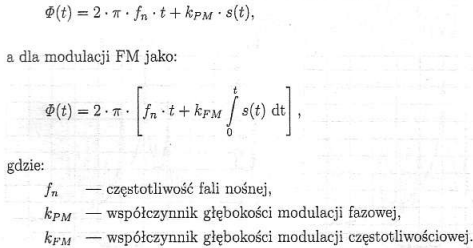
B – szerokość pasma sygnału = 2\*f(i)max; f(i)max czyli częstotliwość sygnału modelującego, znajduje się bliżej zera.

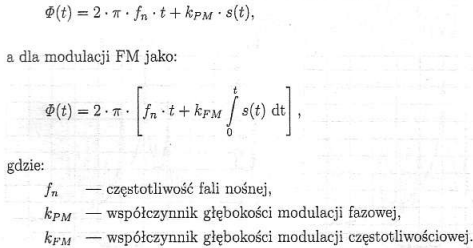
Współczynnik głębokości modulacji = amplituda sygnału modelującego (f(i)max) / amplituda sygnału nośnego (lub (A(m) – A(0))/A(0)\*100%)

* **modulacja kąta** – następuje zmiana kąta fali nośnej, przy czym obwiednia sygnału zmodulowanego jest stała (w AM – zmienia się):



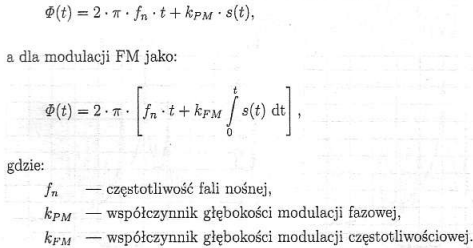
* + **modulacja PM (fazy):**





przy czym dewiacja fazy (k\*max(|s(t)|)) powinna być nie większa od pi.

* + **modulacja FM (częstotliwości):**



**Głębokość modulacji:**

Współczynnik głębokości modulacji k wpływa na stopień oddziaływania sygnału informacyjnego na sygnał nośny; musi być odpowiednio dobrany tak, ale w procesie demodulacji można było uzyskać sygnał źródłowy.

* AM – warunek k\*s(t)<1 – nieodpowiednia wartość k powoduje przemodulowanie (odwrócenie fazy fali nośnej, przez co obwiednia fali zmodulowanej nie odzwierciedla sygnału informacyjnego). Ponadto wielkość współczynnika k jest wprost proporcjonalna do mocy wstęg bocznych widma amplitudowego.
* PM – warunek k\*max(|s(t)|)<=pi – nieodpowiednia wartość k powoduje przemodulowanie. Ponadto wartość k ma bezpośredni wpływ na szerokość pasma sygnału zmodulowanego.

**Modulacja delta (dyskretna)** – realizuje jednobitowe przetwarzanie sygnału analogowego do postaci cyfrowej, w wyniku czego każda próbka jest reprezentowana przez jeden bit. Kodowanie polega na próbkowaniu sygnału informacyjnego ze znacznie większą częstotliwością niż to określa twierdzenie o próbkowaniu w celu zwiększenia korelacji między próbkami, a następnie określany jest związek między nimi na podstawie różnicy (delty). Wynik jest kodowany za pomocą jednego bitu (gdy delta jest ujemna – bit 0, gdy dodatnia – 1).

**Kluczowanie** – modulacja sygnałów cyfrowych (sygnał informacyjny składa się ze strumienia bitów, występują dwa stany) przy pasmowej transmisji, gdzie wykorzystywany jest sygnał nośny w postaci sinusoidy o częstotliwości należącej do pasma transmisyjnego, przy wykorzystaniu jednego z parametrów fali nośnej (A, f, fazy).

* **kluczowanie amplitudy:**
  + 

gdzie: m(t) – sygnał bitowy, T(b) – okres trwania 1 bitu, ASK – sygnał zmodulowany

* + moc sygnału zmodulowanego jest ściśle związana z liczbą bitów 0 występujących w sygnale informacyjnym
  + częstotliwość nośna powinna być dobrana tak, aby stanowiła wielokrotność odwrotności T(b)
* **kluczowanie częstotliwości:**
  + zależnie od stanu bitu wejściowego, wybierana jest określona nośna:



* + częstotliwości poszczególnych nośnych:



gdzie N – liczba całkowita; dzięki temu uzyskuje się sygnał FSK o ciągłej fazie

* **kluczowanie fazy:**
  + fale nośne różnią się fazą początkową o wartość π [11] względem siebie:

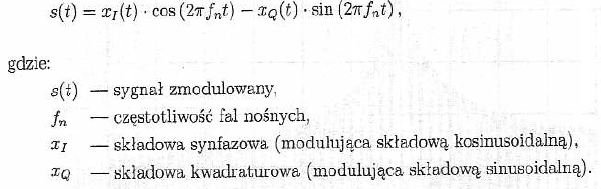


* + zmiana kąta o wartość π odpowiada zmianie znaku wartości funkcji, dzięki temu sygnał PSK można wygenerować również z użyciem jednego generatora z wykorzystaniem konwersji strumienia binarnego na kod bipolarny

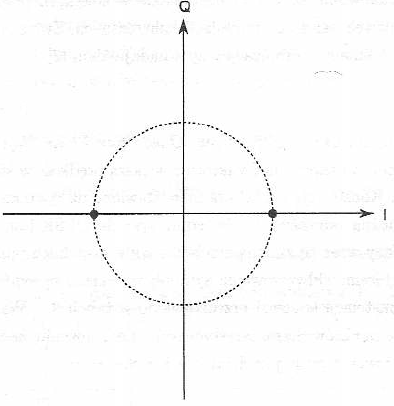
**Modulacja wielotonowa** – modulacja wielowartościowa, zamiast odwzorowania bitu na jeden z parametrów fali nośnej (jak przy modulacji dwuwartościowej), odwzorowywane są słowa K-bitowe na określoną wartość, najczęściej amplitudy lub fazy fali nośnej.

**Modulacja kwadraturowa**:

* jednoczesna zmiana amplitudy i fazy fali nośnej, co przekłada się na jednoczesną modulację amplitudy 2 tonów prostych o tej samej częstotliwości i różniących się w fazie o pi/2



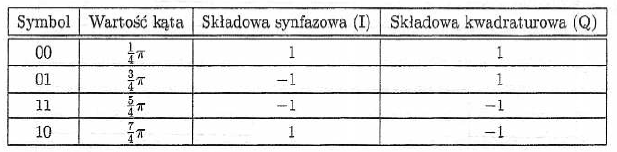
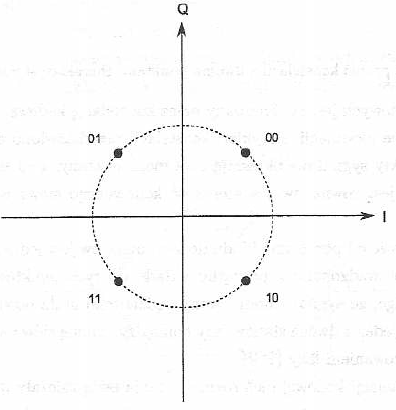
* sygnał jest konwertowany w modulatorze, tzn. bitowy strumień wejściowy x(t) jest dzielony na słowa K-bitowe i generowana jest odpowiednia składowa synfazowa (xI(t)) i kwadraturowa (xQ(t))
* wybór składowych jest zdefiniowany przez konstelację kodową, która określa punkty charakterystyczne modulacji; przykładowa postać konstelacji z dwoma punktami charakterystycznymi (2 punkty sygnałowe = 2 możliwe stany = wartościowość modulacji równa 2 = szerokość kodowanego słowa 1 bit; sygnał zmodulowany ma stałą obwiednię – jednakowa długość wektorów – i jeden z dwóch stanów fazy pomiędzy zmianą słów danych, co odpowiada modulacji PSK):



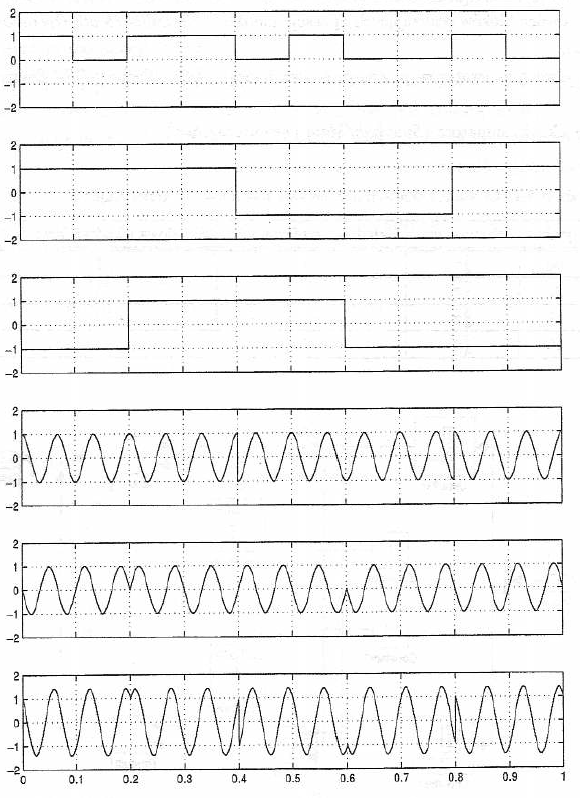
* od liczby punktów w konstelacji kodowej i ich rozmieszczenia (długość wektorów od początku układu współrzędnych do tych punktów, kąt pomiędzy nimi) będą zależeć właściwości sygnału zmodulowanego i prędkość transmisji strumienia bitowego
* celu zminimalizowania negatywnego wpływu zbyt bliskich odległości na przekłamania, stosuje się kodowanie Greya przy odwzorowywaniu symboli do punktów charakterystycznych.

**QPSK**:

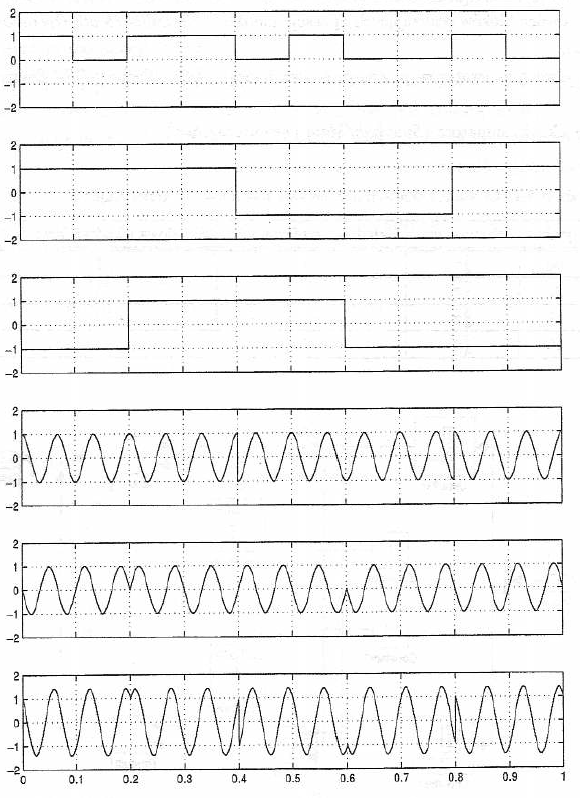
* quadrature phase shift keying, modulacja z przesuwem czterofazowym, modulacja czterowartościowa:
* 2x większa prędkość niż PSK
* stała obwiednia sygnału, 4 stany zmiany fazy wraz ze zmianą symboli, kody sąsiednich punktów sygnałowych różnią się 1 bitem
* wartości składowych = współrzędne punktów charakterystycznych (ich zakres wynosi od -1 do 1), np. dla symbolu 00 składowe I i Q wynoszą 1 (wartość kąta – 1/4pi i wzrasta o 2/4pi dla każdego kolejnego)
* konstelacja:



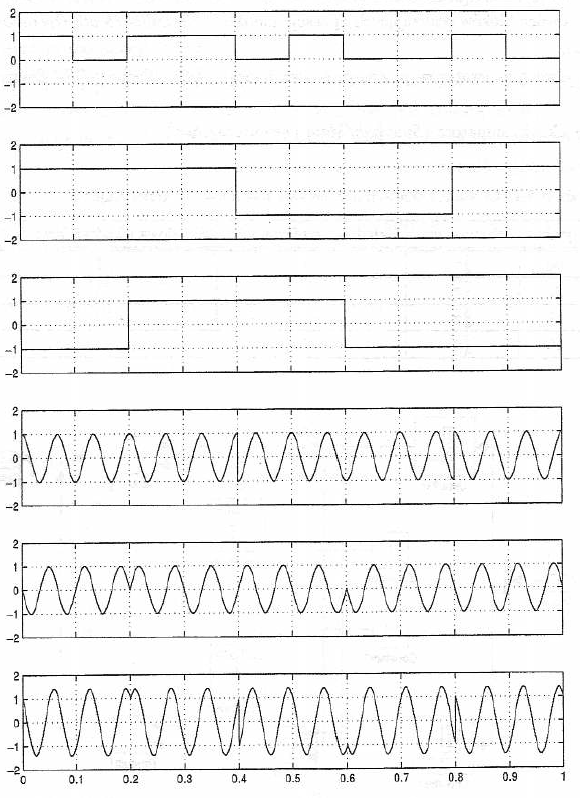
* przebieg modulacji:
  + na wejście jako sygnał informacyjny podawany jest strumień bitów – pary bitów (duobity, jako wektory 2-elementowe):



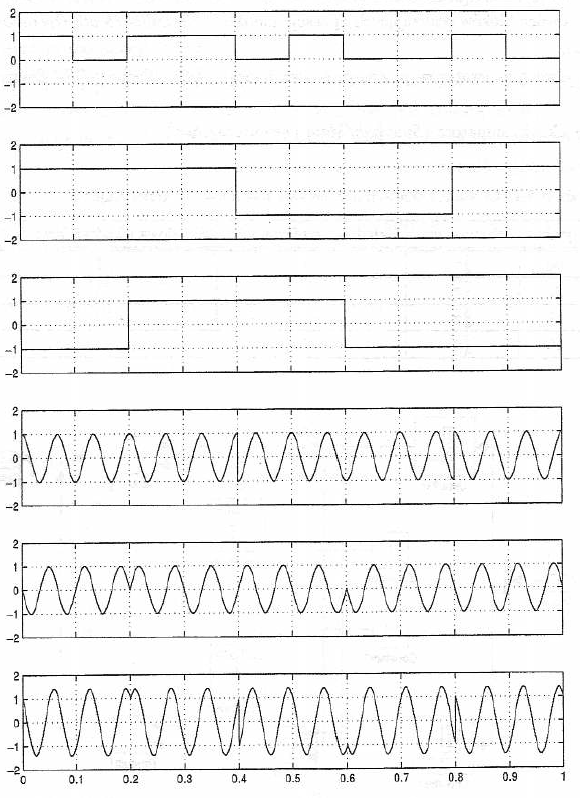
* + rozdzielenie par na bity parzyste i nieparzyste z wydłużeniem czasu trwania (pomnożenie x2):



* + kodowanie bitów na składowe (jak w konstelacji, na podstawie bitu parzystego i nieparzystego)
  + mnożenie składowych przez fale nośne o jednakowej częstotliwości (tu – 15Hz):

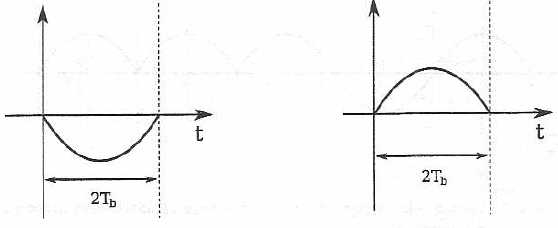


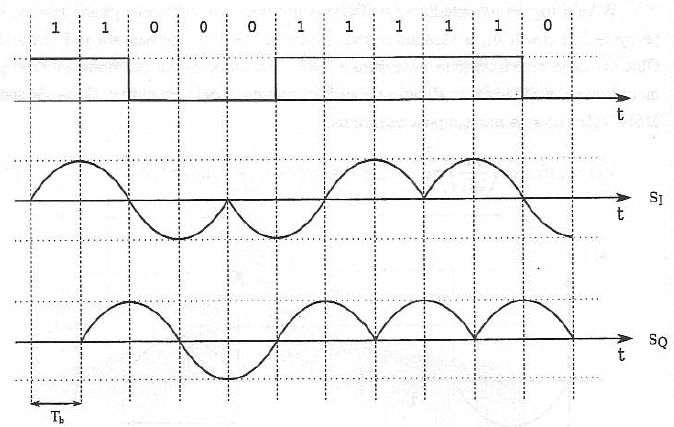
* + sumowanie i otrzymanie sygnału zmodulowanego QPSK:



**MSK:**

* minimum shift keying, czterowartościowa odmiana modulacji częstotliwości
* minimalne przesunięcie fazy i duża efektywność wykorzystania pasma
* stała obwiednia sygnału, ciągłość fazy przy zmianie symboli kodowych
* bitowy strumień wejściowy jest dekomponowany na bity parzyste (składowa I?) i nieparzyste (składowa Q?)
* etapy modulacji:
  + konwersja binarnego kodu wejściowego na kod NRZ z wydłużeniem czasu trwania poszczególnych składowych o Tb (uzyskuje się więc sygnały bipolarne o okresie 2Tb)
  + odwzorowanie bitów 1 na dodatnią połowę sinusoidy o częstotliwości 1/(4Tb), a bitów na 0 – na ujemną połowę (uzyskane z prostownika dwupołówkowego, z sygnału sinusoidalnego)

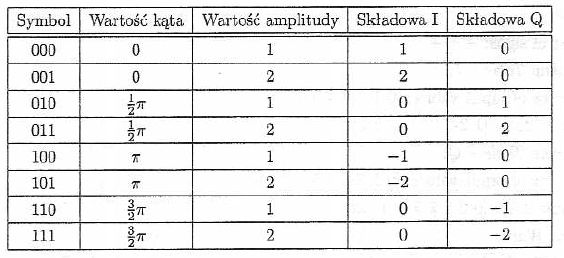
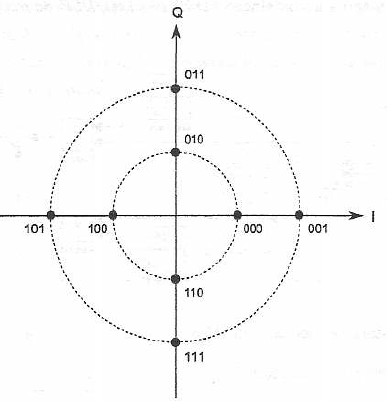


* + dekompozycja strumienia bitowego na składowe: uzyskanie składowej synfazowej – odwzorowywanie kolejnych bitów parzystych od chwili 0, i składowej kwadraturowej – bitów nieparzystych od chwili Tb 
  + uzyskana składowa synfazowa sI i opóźniona składowa kwadraturowa sQ są dostarczane na wejście modulatora kwadraturowego (mnożenie przez nośne)
  + sumowanie i uzyskanie sygnału MSK opisanego zależnością:

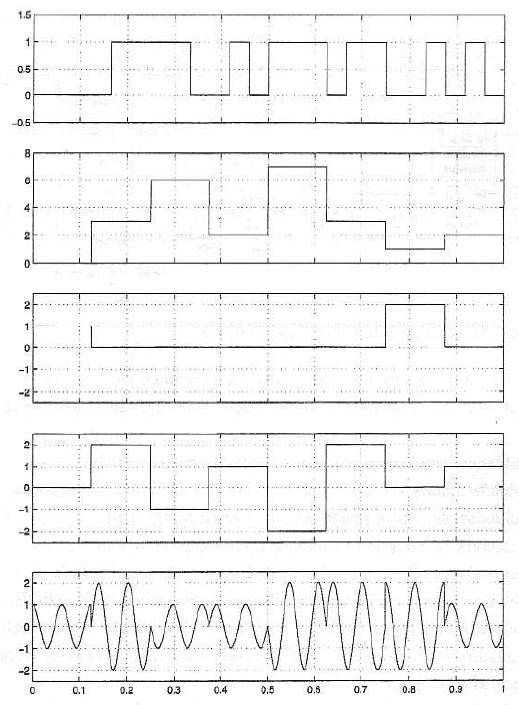


**QAM-8:**

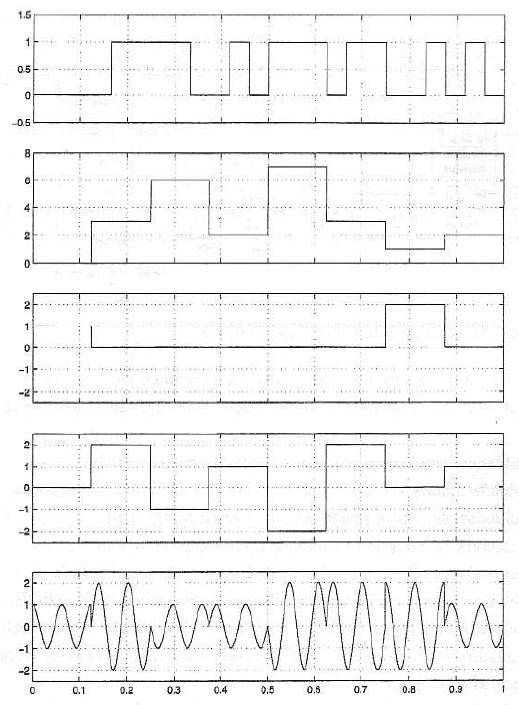
* kwadraturowa modulacja amplitudy
* wielowartościowa modulacja hybrydowa (tu: ośmiowartościowa) – jednoczesna modulacja amplitudy i fazy fali nośnej
* przykładowa konstelacja (2 stany amplitudy i 4 stany fazy przy zmianie symboli kodowych):



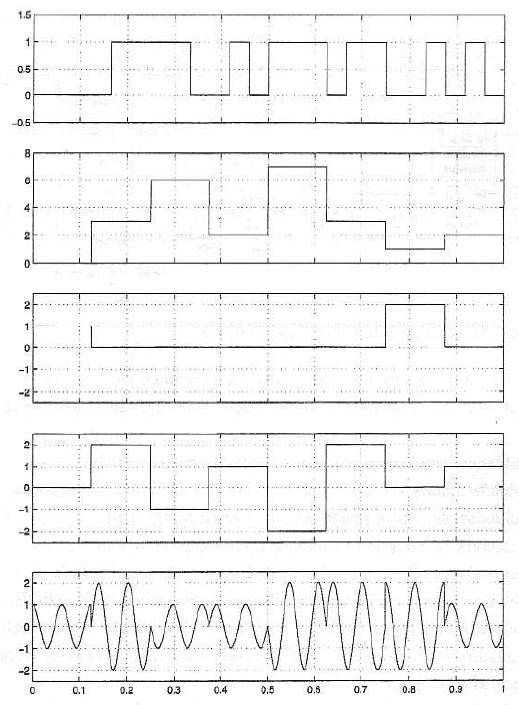
* przebieg modulacji:
  + na wejście wprowadzany jest strumień wejściowy (w postaci binarnego wektora mającego np. 3 elementy):



* + strumień ten jest konwertowany do liczby dziesiętnej będącej indeksem do tablicy przechowującej wartości kodów odzwierciedlających współrzędne punktów charakterystycznych konstelacji:



* + w ten sposób uzyskuje się wartości składowej synfazowej i kwadraturowej:



* + na tej podstawie generuje się sygnał wyjściowy w modulatorze kwadraturowym:

